心理学报 2022, Vol. 54, No. 11, 1325−1339
Acta Psychologica Sinica

https://doi.org/10.3724/SP.J.1041.2022.01325

目标决策还是动作诱发？动作反应对注意促进效应的影响

郑思琦[1] 孟迎芳[1] 黄发杰[2]

([1]福建师范大学心理学院，福州 350117) ([2]福建医科大学健康学院，福州 350117)

摘 要 注意促进效应(ABE)指的是在双任务条件下，伴随探测任务的目标刺激呈现的背景信息记忆成绩要优于伴随分心刺激呈现的背景信息记忆成绩的现象。以往研究主张，ABE 的产生主要源于目标决策时所诱发的注意增强。但由于目标探测往往伴随着动作反应，而已有研究发现，动作反应就能直接诱发背景信息的记忆增强效应，因此 ABE 也可能源于动作诱发的记忆增强效应。为此，研究设置了 NoGo 目标探测条件与 Go 目标探测条件，通过 4 个实验系统地探讨了动作反应与目标决策在 ABE 产生中的作用及关系。结果表明，Go 目标探测条件下的 ABE 是稳定的，但 NoGo 目标探测条件下的 ABE 会受到动作反应频率对分心词的影响。此外，NoGo 目标探测跨条件的 ABE 也是非常稳定的。这些结果表明，目标决策产生的注意促进作用是相对稳定的，但 ABE 的产生更多是目标决策的促进作用与动作诱发的记忆增强效应动态权衡后的结果。

关键词 注意促进效应，动作记忆增强效应，双任务交互模型，Go 目标探测，NoGo 目标探测
分类号 B842

1 前言

日常生活中我们经常会处于一种双任务的状态，例如，在开车时你既需要关注交通信号灯的变化，同时也要关注路况信息。而个体的注意资源是有限的，通常某一项任务的注意资源增多，另一项任务的注意资源就会相应地减少，该任务相应的行为反应也随之受到影响，表现出双任务干扰效应(Pashler, 1994; Kinchla, 1992)。然而也有一些研究发现双任务并不一定都会产生干扰效应。Swallow 和 Jiang (2010)最早探讨这一现象。实验采用学习−测验范式，学习阶段要求被试在记忆系列图片的同时，对图片中央的方块进行颜色探测任务，白色方块(目标)进行按键反应，黑色方块(分心)则忽略，无需反应。目标与分心的比例为 1 : 6。学习阶段的刺激呈现方式改编自快速系列视觉呈现(RSVP, rapid serial visual presentation)范式，即以 500 ms/项的速率连续呈现，其中方块与图片同时呈现 100 ms 后消失，图片继续呈现 400 ms。学习阶段结束 2 分钟后对图片进行再认测验。通常认为，目标探测所占用的注意资源要高于分心拒绝(Duncan et al., 1994)，由此推测，伴随目标呈现的图片在编码时所得到的注意资源应少于伴随分心呈现的图片，表现出更差的再认成绩。结果却发现，伴随目标呈现的图片记忆成绩明显优于伴随分心呈现的图片。Swallow 和 Jiang 将这一现象命名为注意促进效应(Attentional Boost Effect, ABE)。之后研究使用不同的背景材料(面孔：Swallow & Jiang, 2011; 词汇：Mulligan et al., 2014; Mulligan et al., 2016)、在多种记忆测验中(短时记忆测验：Makovski et al., 2011；内隐记忆测验：Spataro et al., 2013)都验证了该效应的稳定存在。

为了更好地解释 ABE 的产生，Swallow 和 Jiang (2013)提出了双任务交互模型(the dual-task interaction

收稿日期：2021-10-08
郑思琦和孟迎芳为共同第一作者。
通信作者：孟迎芳，E-mail: mengyf1978@126.com

model)。该模型进一步扩展了注意资源有限性理论，认为知觉资源会以一种更灵活的方式进行分配，主要表现在当中央执行系统将快速呈现的探测刺激归类为需要进行反应(如按键、计数或者维持在记忆中)的目标刺激时(即探测任务的目标决策过程)，会触发一个基于时间的选择性注意机制。该机制通常伴随着蓝斑核-去甲肾上腺素(LC-NE)的释放，产生短暂的活动增强。这种兴奋性会泛化地投射到大脑皮层感觉区域，促进与目标同时呈现的背景信息的知觉加工，产生 ABE。随后研究还发现，那些与目标刺激存在高度知觉相似性的分心项并不会出现类似的促进作用(Swallow & Jiang, 2014a)；并且在目标决策前增加的知觉或语义负荷(Swallow & Jiang, 2014a; Zheng et al., 2020)也不会影响 ABE 的产生，进一步支持了双任务交互模型，表明 ABE 主要源于对探测刺激的目标决策。

然而在 ABE 研究中，被试在探测出目标刺激时还需做出相应的动作反应(如按键)。而近期有研究发现，动作反应本身就能直接增强与动作无关的背景信息的记忆，并将其命名为动作诱发的记忆增强效应(AIME, action-induced memory enhancement, Yebra et al., 2019)。该研究采用“Go-NoGo”任务范式，在编码阶段要求被试观看系列灰色图像(呈现速率约 4s/项)，同时对图像的颜色边框(蓝色或黄色)根据预先的指令执行按键动作反应(Go 反应)或不作反应(NoGo 反应)。1 小时(或 1 天)后进行意料之外的再认测验。结果发现，与 NoGo 反应相比，伴随 Go 反应的图片记忆成绩更好。同时，研究通过功能磁共振成像(fMRI)和瞳孔直径的测量(测量 LC 活跃性的间接手段)深入探讨并解释了 AIME 的产生机制，即 AIME 的产生是由于对记忆形成至关重要的内侧颞叶(MTL)和蓝斑核(LC)这两个脑区中存在着动作关联的神经元反应(action-related neuronal responses)，因此动作反应本身就可以直接引发 LC 和 MTL 中的神经元活跃性增加并发生联通，使 LC 释放的大量去甲肾上腺素(NE)直接作用在 MTL 的记忆回路(即海马和周围皮质)中，进而增强与动作无关的背景信息的编码。

AIME 的发现似乎为 ABE 的产生机制提供了另一种可能的解释，即 ABE 的产生是否源于对探测刺激的目标动作反应诱发了背景信息的记忆增强，而非源于对探测刺激的目标决策呢？前期研究曾将目标探测的按键反应改为内隐的心理计数反应，结果仍观察到稳定的 ABE (Swallow & Jiang, 2012, 2014b, 2019)，由此排除了动作反应在 ABE 产生中的作用。但依据事件编码理论(the theory of event coding)，计数反应由于涉及心理更新，也会被视作一种非外显动作的动作代码被编码进事件记录文件中(Hommel, 2004; Makovski et al., 2013)。并且，Swallow 等人(2019)观察到被试在对目标刺激进行心理计数时，也出现瞳孔直径增大的现象。瞳孔直径增大意味着 LC (蓝斑)的活跃性被激活，而研究发现恒河猴的 LC+神经元(即蓝斑和附近的蓝斑下核中的神经元)的活跃性只有在与动作相关的“Go”反应时才会被激活(Kalwani et al., 2014)。因此对目标的计数反应仍是一种“Go”反应，而只要目标决策伴随“Go”反应，便无法排除动作反应诱发的记忆增强在 ABE 中的可能作用。

如何能将对探测刺激的目标决策与 Go 反应分离，是澄清 ABE 产生机制来源的关键所在。Makovski 等人(2013)的实验设计为此提供了一定的借鉴意义。他们在编码阶段向被试呈现男性面孔、女性面孔和自然场景三类刺激，要求图片出现时尽可能快地作按键反应(Go 反应)，并记忆图片，但当预先指定的目标图片(如男性面孔)出现时，则需要取消按键动作(NoGo 反应)，只记忆图片。结果发现，进行 NoGo 反应的目标图片比进行 Go 反应的图片记忆成绩更好，表明相比于动作反应，目标决策对图片有着更优的记忆促进作用。但与旨在探讨“目标探测任务对另一无关任务的记忆影响”的 ABE 研究不同，在 Makovski 等人的实验中，探测目标为记忆刺激本身，而非与记忆刺激无关的其它刺激(如方块)。而探测刺激的不同设置(相关/无关)会产生不同的效果，在探测相关刺激时所引发的现象(Doallo et al., 2012)，在探测无关刺激时并不一定能产生(Inoue & Sato, 2017)。故而 Makovski 等人的研究结果无法直接应用于 ABE 的解释，但该研究设计对探讨 ABE 与动作反应的关系这一研究问题具有参考价值。因此，本研究拟借鉴 Makovski 等人(2013)的实验设计，在 ABE 范式下设置 NoGo 目标探测条件来实现目标决策与动作反应的分离，以期进一步探讨 ABE 的产生机制。

本研究拟在 Mulligan 等人(2014)的 ABE 范式基础上，对探测任务进行两处改编以形成 NoGo 目标探测条件：一是修改指导语和被试的反应任务，要求被试在监测到词汇下方出现颜色圆圈(分心圆圈)时都要尽可能快地作按键反应(Go 分心反应)，但当预先指定的目标圆圈(如红色圆圈)出现时，取

消按键动作(NoGo 目标反应)。依据双任务交互模型，“目标”的定义是改变原计划活动的项目(Swallow & Jiang, 2013)，因此当指导语使被试对所有探测圆圈都存在 Go 反应倾向时，需要进行 NoGo 反应的圆圈(需要改变原计划)就会成为目标。二是在不改变目标与分心比例(1 : 4)的基础上，增加分心圆圈的颜色种类(如黄、蓝、绿、紫)，与 1 种目标颜色圆圈(如红色)混合呈现，每种颜色圆圈的呈现频率为 20%，目的是防止被试对指导语进行翻转。因为出于认知加工的节省原则，被试会倾向于将种类少的刺激视为目标。为了方便，我们将学习阶段与目标圆圈一起出现的词汇称为目标词，与分心圆圈一起出现的词汇称为分心词。

同时，为了进行有效比较，研究也设置了经典的 Go 目标探测条件作为基线，即对目标圆圈进行按键反应(Go 目标反应)，而对分心圆圈无需反应(NoGo 分心反应)，其它设置均与 NoGo 目标探测条件相同。该设置可以通过条件内及跨条件的比较，为 ABE 的解释提供更多的证据。我们假设，如果 ABE 主要源于目标决策的促进作用，那么两种条件内(NoGo 目标探测条件、Go 目标探测条件)都应该存在目标词与分心词之间的差异，即都存在 ABE。同时，NoGo 目标反应下的记忆成绩应该也会优于 NoGo 分心反应下的记忆成绩，产生跨条件的 ABE。相反，如果 ABE 主要源于动作的记忆增强作用，那么 NoGo 目标反应不会带来任何记忆优势，即 NoGo 目标探测在条件内(相对于 Go 分心词)和跨条件间(相对于 NoGo 分心词)均不会出现 ABE。同时，Go 目标或分心反应下的记忆成绩应该明显优于 NoGo 目标或分心反应下的记忆成绩，表现出跨条件的动作增强效应。

2　实验 1：ABE 的产生是否源于对目标的动作反应增强效应

2.1　方法

2.1.1　被试

采用 G*Power 3.1，结合以往 ABE 研究(Mulligan et al., 2014; Mulligan & Spataro, 2015)计算所需被试样本量(Faul et al., 2007)，当平均效应大小为 f = 0.48(相当于 $\eta_p^2 = 0.19$)时，至少需要 11 名被试才能达到在重复测量方差分析中 0.95 的统计检验力(1 − β)。同时考虑接近正态分布的样本量标准($n \geq 30$)，因此通过校园广告在某大学城共招募 35 名在校大学生。所有被试均为右利手，视力或矫正视力正常且无红绿色盲。有效数据纳入标准为探测成绩 0.4 以上及再认成绩均值 3 个标准差之内。其中 2 名被试分别因程序操作错误(进行了两遍学习任务)及 NoGo 目标探测成绩低于 0.4 被剔除，最终共 33 名被试数据进入最后分析(其中 10 名男性)，平均年龄为 19.42 ± 0.43 岁。被试在实验开始前阅读书面的知情同意书，实验结束后获得一定报酬。

2.1.2　实验材料与仪器

记忆材料选自《现代汉语频率词典》(现代汉语频率词典, 1986)的“表二(2)频率最高的前 8000 个词表”中趋于中性化的双字名词，同时结合国家语委现代汉语语料库(www.cncorpus.zhonghuayuwen.org)以确保时效性，后去除词频超过均值 3 个标准差的双字词，共选取 256 个词汇作为实验中的关键词(平均词频为 1.31% ± 1.18%)。将 256 个关键词随机平分为 2 组，分别用于 Go 目标探测条件和 NoGo 目标探测条件。两组词汇在词频(M = 1.31% ± 1.20% vs. M = 1.31% ± 1.18%)、愉悦度(M = 5.08 ± 0.31 vs. M = 5.08 ± 0.33)、唤醒度(M = 4.95 ± 0.25 vs. M = 4.95 ± 0.27)、笔画(M = 15.73 ± 3.59 vs. M = 15.71 ± 3.43)等变量上匹配 $t(127)$s < 0.90, ps > 0.40。每种探测条件中，128 个关键词随机平分为 2 组，1 组在学习阶段呈现，其中一半伴随目标圆圈(目标词)，一半伴随分心圆圈(分心词)；另 1 组作为新词在测验阶段与学习阶段的旧词混合随机呈现。另外，以类似方式选取 256 个高频双字词作为学习阶段的填充词(平均词频为 0.60% ± 0.50%)及 36 个作为学习和测验阶段的练习词(平均词频为 0.30% ± 0.20%)，其中一半用于 Go 目标探测条件，一半用于 NoGo 目标探测条件。所有词汇为白色，呈现在黑色屏幕上，字号 60，视角大小为 1.03° × 2.15°。

探测刺激为直径 1 cm (视角大小为 0.72°)的颜色圆圈，共 5 种：红色(RGB: 255, 0, 0)，黄色(RGB: 255, 255, 0)，蓝色(RGB: 0, 0, 255)，绿色(RGB: 0, 255, 0)和紫色(RGB: 255, 0, 255)。

实验程序通过 Presentation 软件创建，在 Dell 电脑上运行，电脑屏幕为 15 寸 CRT 的显示器，分辨率为 1280 × 1024。被试于一个隔音效果良好的实验房进行独立施测，被试与电脑显示屏的距离大约 80 cm 左右。

2.1.3　实验设计与实验程序

实验采用 2 (目标探测类型：Go vs. NoGo) × 2 (注意类型：目标 vs. 分心)的被试内设计，所有被试均需完成 Go 目标探测和 NoGo 目标探测两个条

件，为防止疲劳，两个条件之间让被试至少保证休息 3 分钟以上，并由被试确定是否可以继续。条件的先后顺序在被试间平衡。每个条件均包含学习阶段、分心阶段和测验阶段。

学习阶段：于黑色屏幕中央同时呈现双字词和颜色圆圈，双字词为白色，字号 60，视角大小为 1.03° × 2.15°，圆圈位于双字词下方 1 cm 处，视角大小为 0.72°。刺激共分为 32 组，每组 5 个，其中 1 个为目标词，伴随目标圆圈出现；1 个为分心词，3 个为填充词，均伴随分心圆圈出现。每种颜色圆圈(红、黄、蓝、绿、紫)概率为 20%，目标圆圈在一半被试中被指定为红色，在另一半被试中被指定为绿色，以防被试存在红色偏好(Aslam, 2006)，目标圆圈之外的颜色均为分心圆圈。每组中，目标词始终呈现在第 3 位，分心词和填充词按照伪随机的顺序排列在其余 4 个位置。同时每组间随机呈现 0~2 个填充词。要求被试默读并记忆屏幕上呈现的双字词，同时对圆圈执行 Go 或 NoGo 目标探测任务。在 Go 目标探测任务下，被试看到目标圆圈(如红色圆圈)时立刻用惯用手按空格键，其他颜色圆圈(分心圆圈)则无需按键，只记忆词汇；在 NoGo 目标探测任务下，被试看到圆圈(分心圆圈)都应用惯用手按空格键，但如果出现目标圆圈(如红色圆圈)时必须停止按键。每个双字词和探测圆圈同时呈现 100 ms 后，探测圆圈消失，双字词继续单独呈现 400 ms，随后呈现间隔(ISI)为 500 ms 的空屏(学习阶段流程图见图 1)。

学习阶段结束后立即让被试进行分心计算任务(20 道两位数加减运算题)，随后进行再认测验。

再认阶段：128 个关键词于屏幕中央随机依次呈现，其中 64 个为学习阶段呈现过的旧词(32 个目标词和 32 个分心词)和 64 个新词。要求被试在保证正确率的前提下尽可能快地对词汇进行新/旧判断(新词按 F，旧词按 J)。每个双字词直到被试按键后才消失，词间间隔为 1400 ± 200 ms。

2.2 结果

2.2.1 目标探测任务

对被试在两个目标探测条件下的探测成绩进行分析。Go 目标探测条件下，目标的正确探测率(即被试正确按键的试次数/总目标试次数)为 99.24% (SE = 0.30%); NoGo 目标探测条件下，目标的正确探测率(即被试成功不按键的试次数/总目标试次数)为 76.89% (SE = 2.80%)，因 Shapiro-Wilk 检验表明，探测成绩均为非正态分布，Ws < 0.80, ps < 0.05，故采用 Wilcoxon 符号秩检验法比较了两种探测条件下的成绩差异，结果表明，NoGo 目标探测条件下的目标正确探测率低于 Go 目标探测条件，$Z = -5.02$, $p < 0.001$。该结果与 Makovski 等人(2013)的研究结果相似(在其实验 4 中，NoGo 目标刺激的正确探测率为 79.3%)。此外，两个探测条件的分心正确拒绝率皆保持在较高的成绩水平，Go 目标探测条件下，分心的拒绝正确率(即被试正确不按键的试次数/总分心试次数)为 99.15% (SE = 0.80%), NoGo 目标探测条件下，分心的正确拒绝率(即被试正确按键的试次数/总分心试次数)为 97.44% (SE = 0.60%)。因此被试在编码阶段正确依据指导语进行了各项任务。

2.2.2 再认任务

两种探测条件下的旧词再认率和新词虚报率结果见表 1。由于研究主要探究目标成功探测对双字词产生的影响，因此旧词再认率为编码时成功探测试次下的关键词成功再认的百分比(即旧词再认率 = 成功探测试次的关键词正确再认数/成功探测试次总数)。

考虑到虚报率可能会对结果产生影响，因此计算了矫正再认率，即旧词的再认率减去虚报率。不同条件的旧词矫正再认率结果见图 2，随后的分析主要基于矫正再认率进行。Shapiro-Wilk 检验发现，旧词矫正再认率均符合正态分布，Ws > 0.9, ps > 0.5。为考察条件内的 ABE，首先对矫正再认率进行 2 (目标探测类型：NoGo vs. Go) × 2 (注意类型：目标词 vs. 分心词)的重复测量方差分析。结果发现，注意类型主效应显著，$F(1, 32) = 56.39$, $p < 0.001$, $\eta_p^2 = 0.64$, 95% CI [0.40, 0.75]，目标词的再认率优于分心词。探测类型主效应显著，$F(1, 32) = 5.08$, $p = 0.03$, $\eta_p^2 = 0.14$, 95% CI [0.00, 0.35], Go 目标探测下

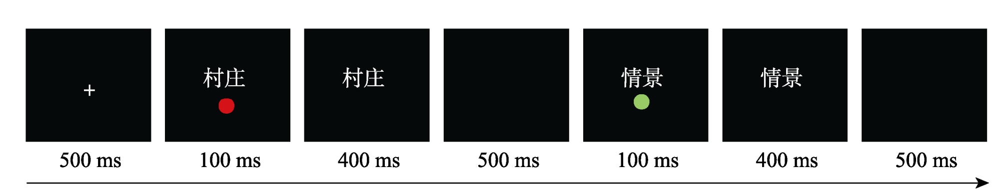


图 1 学习阶段流程图

表 1　实验 1 旧词再认率和新词虚报率

目标探测类型	目标词	分心词	新词虚报
Go 目标探测	0.62 (0.02)	0.51 (0.02)	0.36 (0.02)
NoGo 目标探测	0.61 (0.03)	0.49 (0.03)	0.39 (0.03)

注：括号内为标准误(*SE*)。

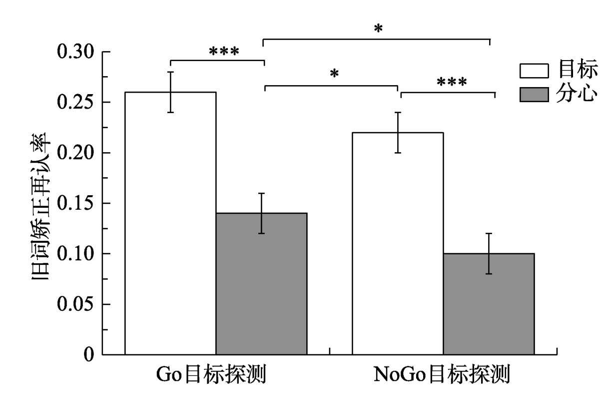


图 2　实验 1 各条件的旧词矫正再认率比较

注：误差线为标准误; $*p < 0.05$, $**p < 0.01$, $***p < 0.001$

的再认率好于 NoGo 目标探测。注意类型与探测类型交互作用不显著, $F(1, 32) = 0.02$, $p = 0.877$。因此, 两个目标探测条件都产生了条件内 ABE, 但两个 ABE 大小并无显著差异[Go 目标探测条件: 11.70%, NoGo 目标探测条件: 12.10%, $t(32) = -0.16$, $p = 0.877$]。

为进一步去除动作反应对 ABE 的影响, 我们也对 NoGo 目标探测条件下的 NoGo 目标词与 Go 目标探测条件下的 NoGo 分心词进行比较, 结果发现, NoGo 目标词的记忆成绩显著优于 NoGo 分心词, $t(32) = 2.60$, $p = 0.010$, $d = 0.45$, 95% CI = [0.09, 0.81], 表现出跨条件的 ABE。该 ABE 大小(7.22%)与 Go 目标探测条件(11.71%)无差异[$t(32) = 1.74$, $p = 0.090$], 但显著小于 NoGo 目标探测条件(12.08%), $t(32) = 2.15$, $p = 0.04$, $d = 0.37$, 95% CI = [0.02, 0.72]。进一步分析发现, NoGo 分心词的记忆成绩好于 Go 分心词, $t(32) = 2.26$, $p = 0.03$, $d = 0.39$, 95% CI = [0.04, 0.74], 而 Go 目标词的记忆成绩与 NoGo 目标词不存在显著差异[$t(32) = -1.74$, $p = 0.090$]。

2.3　讨论

综合上述结果, 两种探测条件下都发现了明显的 ABE 现象, 表明不论是否需要动作反应的目标探测, 都能产生 ABE。同时, NoGo 目标词的再认率优于 NoGo 分心词, 表现出跨条件 ABE。由于 NoGo 目标词和 NoGo 分心词皆未伴随动作反应, 因此该结果进一步表明, ABE 的产生并不需要对目标刺激的动作反应, 目标决策即可产生相应的促进作用。

实验 1 也发现另一个有意思的现象, Go 目标词与 NoGo 目标词的再认成绩不存在差异, 而 Go 分心词的再认成绩明显差于 NoGo 分心词。这些结果似乎表明, 在目标探测任务下, 动作反应不仅不会促进对目标词的编码, 反而会更进一步抑制对分心词的编码, 产生更差的再认成绩。这与 Yebra 等人(2019)的研究结果完全相反。由于 Yebra 等人(2019)研究中, 动作信号与非动作信号的比例为 1 : 1, 而本实验 1 的 NoGo 目标探测条件下, 动作信号(Go 分心)与非动作信号(NoGo 目标)的比例高达 5 : 1。研究曾表明, 频繁呈现的信号通常会吸引被试较弱的注意(Theeuwes, 1992, 2010)。那么在 NoGo 目标探测条件下, Go 分心词更差的再认成绩是否可能源于频繁的动作反应, 使被试只在较低的注意水平下执行动作任务, 导致对分心词产生更大的抑制?

因此实验 2 将在实验 1 的基础上, 操纵目标与分心的呈现比例为 1 : 1, 以排除动作与非动作的比例差异引发的额外混淆因素。根据 Yebra 等人(2019)研究结果推测, 在目标与分心的呈现比例为 1 : 1 时, Go 动作应该会对背景信息(分心词)产生记忆增强作用。那么动作反应对分心词诱发的记忆增强是否会减弱, 甚至抵消目标探测对目标词产生的注意促进作用, 导致 NoGo 目标探测条件下 ABE 的消失呢? 这是实验 2 拟进一步探讨的问题。

3　实验 2: 目标探测与动作反应在目标与分心 1 : 1 条件下的作用比较

3.1　方法

3.1.1　被试

被试选取标准同实验 1, 共新招募 36 名在校大学生, 其中 1 名被试因旧词再认率低于平均数 3 个标准差而被筛除, 最终共获得 35 份有效数据。为了统一实验间的被试量以使实验 2 与实验 1 的结果对比更具可靠性, 实验 2 进一步采用 SPSS 中随机选择个案的功能, 从中随机选出 33 名被试的数据进入分析(其中男性 15 名), 平均年龄为 19.79 ± 0.43 岁。所有被试均为右利手, 视力或矫正视力正常且无红绿色盲。

3.1.2　实验材料与实验程序

采用实验 1 所选取的 256 个关键词及 256 个填充词。256 个关键词在不同实验条件间的分配方式

与实验 1 相同。为确保学习阶段探测任务的目标与分心刺激比例为 1 ∶ 1，256 个填充词中，一半与目标圆圈呈现，一半与分心圆圈呈现。测验阶段只对关键词(目标词和分心词)进行再认测验。其它均与实验 1 一致。

3.2 结果

3.2.1 目标探测任务

Go 目标探测条件下，目标的正确探测率为 98.77% (SE = 0.90%)；NoGo 目标探测条件下，目标的正确探测率为 92.61% (SE = 2.00%)，低于 Go 目标探测条件，$Z = -3.80$ (因目标探测任务的探测率均为非正态分布，$Ws < 0.80$, $ps < 0.05$，故采用 Wilcoxon 符号秩检验), $p < 0.001$。此外，Go 目标探测条件下分心的正确拒绝率(97.06%, SE = 0.81%)与 NoGo 目标探测条件下分心的正确拒绝率(96.88%, SE = 1.00%)皆保持在较高的成绩水平，表明被试认真执行探测任务。

3.2.2 再认任务

两种探测条件下的旧词再认率和新词虚报率结果见表 2。与实验 1 一致，实验 2 也基于旧词的矫正再认率(各条件旧词矫正再认率见图 3)对主要关注结果进行分析。

表 2 实验 2 旧词再认率和新词虚报率

目标探测类型	目标词	分心词	新词虚报
Go 目标探测	0.55 (0.03)	0.48 (0.03)	0.39 (0.03)
NoGo 目标探测	0.51 (0.02)	0.52 (0.03)	0.34 (0.02)

注：括号内为标准误(SE)。

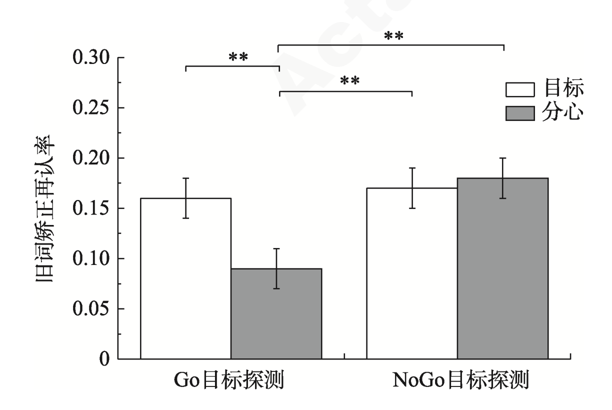


图 3 实验 2 各条件的旧词矫正再认率比较

注：误差线为标准误; *$p < 0.05$, **$p < 0.01$, ***$p < 0.001$

Shapiro-Wilk 检验发现，旧词的矫正再认率成绩均符合正态分布，$Ws > 0.90$, $ps > 0.20$。对矫正再认率进行 2 (目标探测类型: NoGo vs. Go) × 2 (注意类型: 目标词 vs.分心词) 的重复测量方差分析，结果发现，探测类型主效应显著，$F(1, 32) = 6.59$, $p = 0.015$, $\eta_p^2 = 0.17$, 95% CI [0.01, 0.38]，注意类型主效应不显著[$F(1, 32) = 3.04$, $p = 0.090$]，但注意类型与探测类型交互作用显著，$F(1, 32) = 6.81$, $p = 0.010$, $\eta_p^2 = 0.18$, 95% CI [0.01, 0.39]。进一步简单效应分析发现，在 Go 目标探测条件下，目标词的矫正再认率显著好于分心词，$F(1, 32) = 8.97$, $p = 0.005$, $\eta_p^2 = 0.22$, 95% CI [0.02, 0.43]，表现出 ABE；但在 NoGo 目标探测条件下，目标词与分心词在再认率上无显著差异[$F(1, 32) = 0.16$, $p = 0.690$]，即没有发现 ABE。同时, Go 分心词的矫正再认率显著优于 NoGo 分心词, $F(1, 32) = 14.41$, $p = 0.001$, $\eta_p^2 = 0.31$, 95% CI [0.07, 0.51]，但 Go 目标词与 NoGo 目标词之间的再认率不存在显著差异, $F(1, 32) = 0.06$, $p = 0.820$。

为观察 NoGo 目标探测能否产生跨条件的 ABE，我们对 NoGo 目标探测条件的 NoGo 目标词与 Go 目标探测条件的 NoGo 分心词进行了配对样本 t 检验，结果发现，NoGo 目标词的矫正再认率显著好于 NoGo 分心词，$t(32) = 3.13$, $p = 0.004$, $d = 0.45$, 95% CI = [0.09, 0.81]，表现出 NoGo 目标探测跨条件的 ABE。并且，该 ABE 大小(7.54%)与 Go 目标探测条件的 ABE 大小(6.97%)不存在差异[$t(32) = 0.23$, $p = 0.820$]，与实验 1 中 NoGo 目标探测跨条件的 ABE 大小(7.22%)也不存在差异[$t(64) = 0.09$, $p = 0.930$]。

3.3 讨论

与实验 1 不同，当目标和分心的比例为 1 : 1 时，NoGo 目标探测条件下未发现条件内的 ABE。但出现了 NoGo 目标探测跨条件的 ABE，即与 Go 目标探测条件下的 NoGo 分心词相比, NoGo 目标词仍表现出目标决策所引发的记忆优势，其大小(7.54%)与 Go 目标探测条件内的 ABE (6.97%)，以及实验 1 中 NoGo 目标探测跨条件的 ABE (7.22%)类似，表明目标决策对背景信息所产生的促进作用是相对稳定存在的，不受目标与分心比例的影响。这与以往研究结果也是类似的(也见 Swallow & Jiang, 2012)。

与实验 1 不同的另一个结果是, Go 分心词的再认成绩显著好于 NoGo 分心词，表现出了与 Yebra 等人(2019)研究中类似的动作增强效应。由于实验 2 中 Go 目标词与 NoGo 目标词的再认成绩也未存

在差异, 因此 NoGo 目标探测条件下未发现 ABE 的原因, 源于在目标与分心比例为 1 : 1 的情况下, 动作反应也对分心词产生了与目标探测对目标词产生的类似的促进作用, 从而使得二者的再认率不存在差异。但当目标探测和动作反应的促进作用在同一个背景信息时, 二者的作用似乎会发生冗余。目标探测与其他记忆增强作用发生冗余的现象也曾在其它研究中被观察到(孟迎芳 等, 2018; Spataro et al., 2015)。这也解释了为何实验 1 和实验 2 中, NoGo 目标探测跨条件的 ABE 与 Go 目标探测条件内的 ABE 大小都是相当的。

实验 2 的结果表明, 动作反应对背景信息的记忆增强作用会受到动作反应频率的影响。当动作信号与非动作信号的比例为 1 : 1 时, 动作反应对分心词诱发的记忆增强效应与目标探测对目标词产生的注意促进效应是类似的, 从而导致 NoGo 目标探测条件下 ABE 消失了。但当动作与非动作比例为 1 : 1 时, NoGo 目标探测条件下 ABE 的消失也可能源于被试翻转了指导语, 将 Go 分心按键任务视为目标所致。研究曾发现, 在其他条件相等的情况下(如呈现频率), 人们容易将“不反应/不按键”视为默认的行为模式, 而将“反应动作”视为改变默认行为的目标行为。例如, 被试在男性和女性面孔呈现比例为 1 : 1 的情况下会将“对女性面孔取消按键”这一指导语翻转为“对男性面孔作按键反应” (Makovski et al., 2013)。对此, 以往研究曾将动作刺激与非动作刺激比例更改为 2 : 1, 成功避免被试将按键反应视作目标行为的现象(Makovski et al., 2013)。因此, 实验 3 拟将 Go 分心与 NoGo 目标的比例改为 2 : 1, 以排除被试翻转指导语的可能性所带来的混淆, 另一方面也可进一步考察不同动作反应频率是否会调节动作诱发的记忆增强效应, 以期获得更多证据来解释目标探测与动作反应在 ABE 中的作用。

4　实验 3: 目标探测与动作反应在目标与分心 1 : 2 条件下的作用比较

4.1　方法

4.1.1　被试

被试选取标准同实验 1, 共新招募 36 名在校大学生。与实验 2 一致, 为增强实验间对比的可靠性, 实验 3 也通过 SPSS 软件随机选出 33 名被试数据进入分析(其中男性 14 名), 平均年龄为 19.33 ± 0.34 岁。所有被试均为右利手, 视力或矫正视力正常且无红绿色盲。

4.1.2　实验材料与实验程序

实验材料与实验程序均与实验 2 类似, 不同之处在于, 学习阶段 256 个填充词中, 64 个填充词与目标圆圈呈现, 192 个词与分心圆圈呈现, 以使两个探测条件学习阶段的目标与分心比例达到 1 : 2。

4.2　结果

4.2.1　目标探测任务

Go 目标探测条件下, 目标的正确探测率为 98.96% (SE = 0.40%); NoGo 目标探测条件下, 目标的正确探测率为 79.83% (SE = 2.00%), 低于 Go 目标探测条件的目标探测正确率, $Z = -5.02$ (因目标探测任务的探测率均为非正态分布, $Ws < 0.93$, $ps < 0.05$, 故采用 Wilcoxon 符号秩检验), $p < 0.001$, 表明 NoGo 目标探测任务难度更大。此外, Go 目标探测条件的分心正确拒绝率(98.30%, SE = 0.40%)与 NoGo 目标探测条件的分心正确拒绝率(98.30%, SE = 0.60%)皆保持在较高的成绩水平, 表明被试认真执行探测任务。

4.2.2　再认任务

实验 3 的旧词再认率和新词虚报率的计算方式同实验 1 和 2 (具体数值见表 3)。实验 3 也将基于旧词的矫正再认率(各条件的旧词矫正再认率见图 4)对主要关注结果进行分析。

表 3　实验 3 旧词再认率和新词虚报率

目标探测类型	目标再认	分心再认	新词虚报
Go 目标探测	0.56 (0.03)	0.47 (0.03)	0.33 (0.03)
NoGo 目标探测	0.53 (0.03)	0.48 (0.03)	0.33 (0.02)

注: 括号内为标准误(SE)

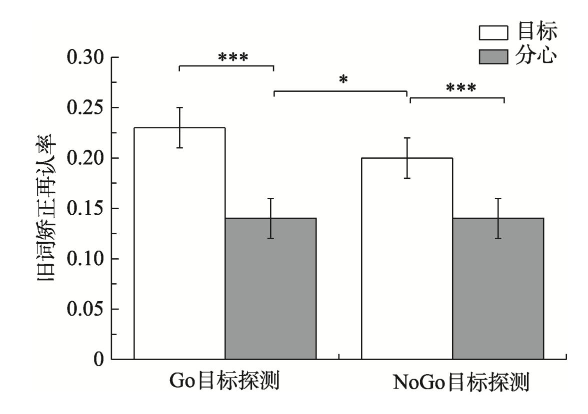


图 4　实验 3 各条件的旧词矫正再认率比较

注: 误差线为标准误; *p < 0.05, **p < 0.01, ***p < 0.001

Shapiro-Wilk 检验发现, 再认成绩均符合正态分布, $Ws > 0.90$, $ps > 0.20$。对矫正再认率进行 2 (目

标探测类型: NoGo vs. Go) × 2 (注意类型: 目标 vs. 分心)的重复测量方差分析。结果发现, 注意类型主效应显著, $F(1, 32) = 18.05$, $p < 0.001$, $\eta_p^2 = 0.36$, 95% CI [0.11, 0.55], 探测类型主效应不显著[$F(1, 32) = 0.43$, $p = 0.520$], 注意类型与探测类型交互作用不显著[$F(1, 32) = 1.37$, $p = 0.250$]。因此, 两个探测条件下 ABE 都是稳定存在的, 即目标探测下的记忆成绩明显优于分心拒绝, 并且两个条件的 ABE 大小无差异[Go 目标探测条件: 9.00%, NoGo 目标探测条件: 5.19%, $t(32) = 1.17$, $p = 0.250$]。

为观察 NoGo 目标探测能否产生跨条件的 ABE, 对 NoGo 目标探测条件下的 NoGo 目标词矫正再认率与 Go 目标探测条件下的 NoGo 分心词进行配对样本 t 检验, 结果发现, NoGo 目标词的矫正再认率显著好于 NoGo 分心词, $t(32) = 2.38$, $p = 0.030$, $d = 0.42$, 95% CI = [0.06, 0.77], 表现出跨条件的 ABE。并且该 ABE 大小(5.83%)与 NoGo 目标探测条件[$t(32) = −0.24$, $p = 0.810$]和 Go 目标探测条件[$t(32) = 1.33$, $p = 0.190$]之间皆不存在差异。同时实验 3 也未发现 NoGo 分心词与 Go 分心词之间的差异[$t(32) = 0.24$, $p = 0.810$]。

4.3 讨论

实验 3 设置了目标与分心的比例为 1 : 2, 结果在 Go 目标和 NoGo 目标探测条件下均发现了明显的 ABE, 以及 NoGo 目标探测跨条件的 ABE, 即与 Go 目标探测条件下的 NoGo 分心词相比, NoGo 目标词表现出目标决策所引发的记忆优势, 其大小与两个条件内的 ABE 无差异, 再次表明目标决策对背景信息所产生的促进作用是相对稳定存在的, 不受目标与分心比例的影响。

同时, 与实验 1 和 2 都不同, 实验 3 在目标与分心比例为 1 : 2 时, Go 分心词与 NoGo 分心词在再认成绩上未存在任何差异, 既未发现动作反应对分心词的抑制作用(实验 1), 也未发现动作反应对分心词的促进作用(实验 2)。表明动作反应频率会调节动作诱发的记忆增强效应。虽然实验 2 的设计其实已通过增加分心刺激的颜色种类来避免翻转指导语的可能, 并且实验 2 的 NoGo 目标探测能产生与实验 1 和 3 相似的跨条件 ABE [$F(2, 101) = 0.13$, $p = 0.880$]的结果也可以间接表明该可能性微乎其微, 但考虑到以往研究证明了动作刺激与非动作刺激的比例为 2 : 1 时可避免被试将按键反应视作目标行为的现象(Makovski et al., 2013), 为了使结论更严谨, 我们同时在实验 2 的基础上也曾进行了一个补充实验[1], 该实验在保证目标与分心比例为 1 : 1 的情况下进一步借助实验设计减小翻转指导语的可能性, 结果仍然重复了实验 2, 拒绝了在实验 2 讨论中曾提出的指导语翻转假设。因此, 3 个实验的结果进一步验证了我们的假设, 即动作反应对背景信息的促进作用会受到动作反应频率的影响。

4.4 动作反应频率对 ABE 的影响分析

对比 3 个实验的结果, 我们发现, 动作反应的频率主要对分心词产生着不同的影响, 在动作反应频率较高的情况下, 动作反应对分心词产生了抑制作用(实验 1), 随着动作反应频率降低, 抑制反应似乎逐渐消失(实验 3), 当动作与非动作反应频率相当时, 动作反应对分心词起到了促进作用(实验 2)。基于此, 我们推测, 动作诱发的记忆增强效应与动作反应频率之间可能呈现出一种线性趋势, 可列为公式: $y = ax + b$ $(x > 0)$, 其中 x 为动作反应频率, y 为 Go 分心词与 NoGo 分心词再认成绩的差值, 表示动作诱发的记忆增强效应。将实验 1 与实验 2 的数据代入, 可得 $a = −0.41 ± 0.09$, 95% CI [−0.59, −0.22], $b = 0.29 ± 0.06$, 95% CI [0.16, 0.41]。为进一步检验该结果的可靠性, 将 $y = 0$ 代入计算 x 的频率, 得 $x = 0.66 ± 0.06$, 95% CI [0.54, 0.77], 即频率为 2/3 (≈ 0.67), 正好是实验 3 的比例设计, 并且实验 3 既未发现动作反应的抑制作用, 也未发现其促进作用, 与 $y = 0$ 是吻合的。因此推测, 动作反应频率 2/3 似乎是一个动作反应促进和抑制的平衡点。当动作反应频率超过 2/3 时, 频繁的动作反应会逐渐对背景信息的编码产生抑制作用, 反之, 则动作

[1] 补充实验的设计与实验 2 类似, 除了进行以下两处改变: 首先是操纵学习阶段练习部分的探测刺激比例, 将练习阶段的目标与分心之比设置为 1 : 4 (正式阶段目标与分心之比依旧为 1 : 1), 同时将记忆刺激更改为对行为变化更敏感的图片(以往研究发现图片比词汇对行为更新更敏感, Makovski et al., 2013), 以此强化 NoGo 目标刺激的设置, 防止被试在 NoGo 目标探测条件下对指导语进行翻转。如果在补充实验中依然发现了动作对背景刺激的促进作用, 并仍未发现 NoGo 目标探测条件内的 ABE, 那么可以说明致使其消失的主要因素是动作。补充实验的再认成绩重复了实验 2 的主要结果, 即发现了 Go 目标探测条件内的 ABE, $F(1,32) = 54.97$, $p < 0.001$, $\eta_p^2 = 0.63$, 95% CI [0.40, 0.75], 但未发现 NoGo 目标探测条件内的 ABE [$F(1,32) = 0.30$, $p = 0.59$], 并且 Go 分心词和目标词都显著好于 NoGo 分心词和目标词, $F(1,32) = 7.29$, $p = 0.011$, $\eta_p^2 = 0.19$, 95% CI [0.01, 0.40]; $F(1,32) = 6.51$, $p = 0.016$, $\eta_p^2 = 0.17$, 95% CI [0.01, 0.38]。进一步验证了在动作呈现频率为 1/2 的条件下, 动作会对背景刺激产生记忆增强作用。并且动作对分心词的记忆增强作用会影响 NoGo 目标探测条件内 ABE 的产生(因补充实验的记忆材料为图片, 考虑到图片与词汇的编码差异, 为了保证结论的严谨性, 故未纳入正文讨论)。

反应会逐渐对背景信息的编码产生促进作用。

那么当目标探测与动作反应同时作用于背景信息时, 即在经典的 Go 目标探测条件下, 动作反应频率是否会影响到目标探测对背景信息所产生的促进作用呢? 对比 3 个实验, 我们也发现, Go 目标词的再认成绩随着目标比例的增大而减小, $F(2, 96) = 3.55$, $p = 0.033$, $\eta_p^2 = 0.07$, 95% CI [0.00, 0.17], 而 NoGo 目标词的记忆成绩不受比例影响[$F(2, 96) = 1.29$, $p = 0.280$], 表明仅目标决策的促进作用是相对稳定的, 但伴随着动作反应的目标决策所产生的影响还是会受到动作反应频率的调节。由于 3 个研究中 Go 目标词的反应频率皆小于 2/3 (见表 4), 依据我们前面提出的"公式", 此时动作反应对目标词表现为促进效应, 而该效应与目标探测产生的促进作用存在冗余, 因此 3 个实验中均表现出 Go 目标词的再认成绩与 NoGo 目标词相当。这也解释了最近一些研究在 Go 目标探测条件下发现的"ABE 会受到目标与分心比例的影响"现象。在这些研究中, 目标呈现频率即为动作反应频率。如 Au 和 Cheung (2020)发现, 目标呈现频率越高, 其所伴随的 ABE 越小。林谷洋(2019)发现, 当目标呈现频率为 4/5 时 ABE 消失, 并且与 ABE 相反, NoGo 分心词的记忆成绩优于 Go 目标词, 而该动作频率代入前述"公式"后算得 y 值小于 0, 代表此时动作在目标词上产生的是抑制作用。因此, 这些现象可能并非源于目标比例对目标探测产生的影响, 而是源于动作反应频率增加了对目标词产生的抑制作用, 缩小了, 甚至抵消了目标与分心之间的差异。

表 4　实验 1~3 旧词矫正再认率及动作反应频率

探测类型		Go 目标词	NoGo 分心词	动作反应频率
Go 目标	实验 1	0.26 (0.02)	0.14 (0.02)	1/6
	实验 2	0.16 (0.02)	0.09 (0.02)	1/2
	实验 3	0.23 (0.02)	0.14 (0.02)	2/3
探测类型		NoGo 目标词	Go 分心词	动作反应频率
NoGo 目标	实验 1	0.22 (0.03)	0.10 (0.02)	5/6
	实验 2	0.17 (0.02)	0.18 (0.02)	1/2
	实验 3	0.20 (0.02)	0.14 (0.02)	2/3

注: 括号内为标准误(*SE*)。

基于上述的分析, 我们提出, 不论目标探测是否需要动作反应, ABE 的产生都不只是源于目标决策的促进作用, 而应该是目标决策的促进作用与动作诱发的记忆增强效应动态权衡后的结果, 我们将之称为 ABE 的"动态权衡模型"。但在前 3 个实验中主要发现的还是动作反应频率对 Go 分心词的影响, 对于动作反应频率与目标决策如何共同作用于 Go 目标词并进而影响 ABE 尚无直接的证据。虽然我们认为林谷洋(2019)研究中所发现的当目标呈现频率为 4/5(即目标与分心的比例为 4 : 1)时 ABE 消失的实验结果可以作为一个有力的证据, 但该作者认为是源于低频的 NoGo 分心对背景信息产生了新异性效应所致。因此实验 4 拟在目标与分心的比例为 4 : 1 的基础上, 增加与分心比例相当的空白词(只呈现词汇, 不需要被试进行任何反应), 进一步控制动作反应频率, 使得 Go 目标的动作反应频率为 2/3(相对于 NoGo 分心、NoGo 空白)。根据我们前期推导的公式, 以及 ABE 的"动态权衡模型", 此时 Go 目标的动作反应频率未超过 2/3, 不会产生抑制作用, 因此, 虽然目标与分心的比例仍为 4 : 1, 但应该可以观察到 ABE。同时实验 4 也设置了动作呈现频率为 2/3 的 NoGo 目标探测条件(NoGo 目标: Go 分心: NoGo 空白 = 1 : 4 : 1)作为对照, 同时观察动作反应频率对 ABE 的调节作用是否能在实验 4 中得到重复, 以期为 ABE 的动态权衡模型提供更多证据。

5　实验 4: 目标决策与动作反应的动态权衡模型验证

5.1　方法

5.1.1　被试

被试选取标准同实验 1, 为保持与前述研究相同样本量, 共新招募 33 名在校大学生, 均进入分析(其中男性 8 名), 平均年龄为 19.27 ± 0.25 岁。所有被试均为右利手, 视力或矫正视力正常且无红绿色盲。

5.1.2　实验材料和仪器

在实验 1 已有词汇的基础上, 按照相同标准, 新增 128 个关键词, 共 384 个关键词, 随机分为 2 组, 分别用于 Go 目标探测和 NoGo 目标探测条件。两个条件的关键词在词频(M = 1.17% ± 1.08% vs. M = 1.16% ± 1.05%)、愉悦度(M = 5.07 ± 0.34 vs. M = 5.12 ± 0.36)、唤醒度(M = 4.80 ± 0.32 vs. M = 4.84 ± 0.36)、笔画(M = 15.73 ± 4.45 vs. M = 15.79 ± 4.18)等变量上匹配 $t(191)\text{s} < 0.9$, $ps > 0.1$。其余皆同实验 1。

5.1.3　实验设计和实验程序

与实验 1 类似, 除了增加空白词条件(即在学习阶段只呈现词汇的条件)。因此实验 4 为 2 (目标

探测类型: Go vs. NoGo) × 3 (注意类型: 目标 vs. 分心 vs. 空白)被试内实验设计。每个条件的学习阶段共混合呈现 32 个目标词, 32 个分心词, 32 个空白词及 96 个填充词。为了保证每个条件的动作频率为 2/3, 在 Go 目标探测条件中, 填充词均伴随目标圆圈呈现, 目标与分心的比例为 4 : 1; 在 NoGo 目标探测条件中, 填充词均伴随分心圆圈呈现, 目标与分心的比例为 1 : 4。练习阶段所呈现的探测刺激比例设置与正式阶段相同。

5.2 结果

5.2.1 目标探测任务

Go 目标探测条件下目标的正确探测率为 99.34% (*SE* = 0.30%); NoGo 目标探测条件下目标的正确探测率为 76.14% (*SE* = 2.00%), 低于 Go 目标探测条件的目标探测正确率, $Z = -5.02$ (因目标探测任务的探测率均为非正态分布, $Ws < 0.93$, $ps < 0.05$, 故采用 Wilcoxon 符号秩检验), $p < 0.001$, 表明 NoGo 目标探测任务难度更大。此外, Go 目标探测条件的分心正确拒绝率(86.17%, *SE* = 2.00%)与 NoGo 目标探测条件的分心正确拒绝率(98.86%, *SE* = 0.30%)皆保持在较高的成绩水平, 表明被试认真执行探测任务。

5.2.2 再认任务

实验 4 的旧词再认率和新词虚报率的计算方式同前述研究(具体数值见表 5)。实验 4 也将基于旧词的矫正再认率(各条件的旧词矫正再认率见图 5)对主要关注结果进行分析。

表 5 实验 4 旧词再认率和新词虚报率

目标探测类型	目标再认	分心再认	基线再认	新词虚报
Go 目标探测	0.60 (0.03)	0.51 (0.03)	0.53 (0.03)	0.39 (0.03)
NoGo 目标探测	0.54 (0.03)	0.46 (0.03)	0.49 (0.03)	0.36 (0.03)

注: *括号内为标准误(*SE*)。

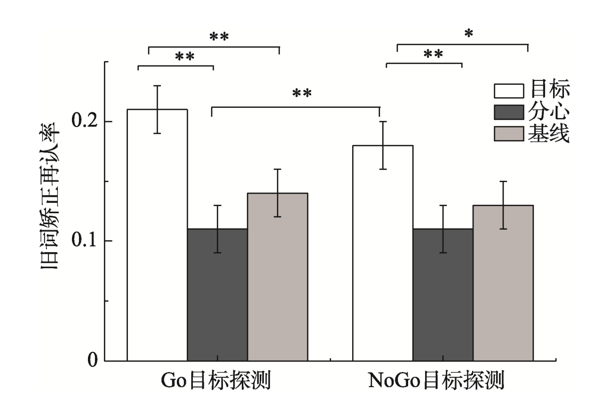


图 5 实验 4 各条件的旧词矫正再认率比较

注: 误差线为标准误; $*p < 0.05$, $**p < 0.01$, $***p < 0.001$

Shapiro-Wilk 检验发现, 再认成绩均符合正态分布, $Ws > 0.90$, $ps > 0.10$。为观察两个目标探测条件是否都能产生 ABE, 对矫正再认率进行 2 (目标探测类型: Go vs. NoGo) × 3 (注意类型: 目标 vs.分心 vs.空白)的重复测量方差分析。结果发现, 注意类型主效应显著, $F(1, 32) = 12.73$, $p < 0.001$, $\eta_p^2 = 0.29$, 95% CI [0.05, 0.49], 事后比较发现, 目标词的再认成绩不仅显著好于分心词($p < 0.001$), 也显著好于空白词($p = 0.003$); 而分心词的再认成绩与空白词之间不存在显著差异($p = 0.353$)。探测类型主效应不显著, $F(1, 32) = 1.13$, $p = 0.296$; 注意类型与探测类型交互作用不显著, $F(1, 32) = 0.22$, $p = 0.803$。因此, 两个目标探测条件都产生了条件内 ABE, 且两个 ABE 大小无显著差异[Go 目标探测条件: 8.45%, NoGo 目标探测条件: 12.10%, $t(32) = 0.73$, $p = 0.355$]。

为观察 NoGo 目标探测能否产生跨条件的 ABE, 对 NoGo 目标探测条件下的 NoGo 目标词矫正再认率与 Go 目标探测条件下的 NoGo 分心词进行配对样本 *t* 检验, 发现 NoGo 目标词的矫正再认率显著好于 NoGo 分心词, $t(32) = 2.31$, $p = 0.028$, $d = 0.40$, 95% CI = [0.04, 0.75], 产生跨条件的 ABE, 其大小(5.69%)与 NoGo 目标探测条件[$t(32) = 0.68$. $p = 0.504$]和 Go 目标探测条件[$t(32) = -1.00$, $p = 0.323$]之间皆不存在显著差异。同时, 实验 4 既未发现 NoGo 分心词与 Go 分心词之间的差异[$t(32) = 0.70$, $p = 0.486$], 也未发现 NoGo 目标词与 Go 目标词之间的差异[$t(32) = 1.02$, $p = 0.317$]。

5.3 讨论

实验 4 增加了空白词, 使得 Go 目标词的动作反应频率为 2/3, 虽然目标和分心的比例仍维持林谷洋(2019)实验中的 4 : 1, 但与其研究结果完全不同, 实验 4 在 Go 目标探测条件下发现了 ABE, 验证了我们提出的“目标决策与动作反应的动态权衡模型”假设。根据该假设, Go 目标探测条件下, 虽然动作反应与目标探测同时出现, 但 Go 目标的动作反应频率未超过临界点(2/3), 因此不会产生反向的抑制作用从而影响 ABE 的产生。同时也发现, Go 目标词与 NoGo 目标词在再认成绩上也未存在差异, 即支持了在该情况下动作反应与目标探测对背景信息的促进作用会出现冗余的解释。

另一方面, NoGo 目标探测条件下也发现了 ABE。此时动作反应与目标探测是分别作用于不同类型的背景信息。虽然目标与分心比例为 1 : 4, 但

Go 分心词的动作反应频率为 2/3。根据我们之前的公式, 在该临界点上正好达到动作反应促进与抑制的平衡, 而实验 4 发现了 NoGo 目标探测条件的 ABE, 且 Go 分心词与 NoGo 分心词在再认成绩上也未存在差异, 重复了实验 3 (目标与分心比例为 1 : 2)的结果, 也再一次验证了这一假设。同时, 与前 3 个实验都一致, 实验 4 也发现了 NoGo 目标探测跨条件的 ABE, 即与 Go 目标探测条件下的 NoGo 分心词相比, NoGo 目标词表现出目标决策所引发的记忆优势, 其大小与两个条件内的 ABE 无差异, 再次表明目标决策对背景信息所产生的促进作用是相对稳定存在的, 不受目标与分心比例的影响。

此外, 实验 4 添加了空白词, 重复了 Swallow 和 Jiang (2014b)的结果, 即目标词的再认成绩好于基线词(即空白词), 但分心词与基线词无差异, 表明 ABE 的产生并非源于分心拒绝对背景信息的抑制作用, 且这种现象在有无动作反应的目标探测条件下都是一样的, 也间接验证了我们实验设计的可靠性。

6　总讨论

本研究借鉴 Makovski 等人(2013)的实验范式, 改编了 ABE 范式设计出 NoGo 目标探测条件和 Go 目标探测条件, 通过 4 个实验系统地探讨了动作反应与目标探测在 ABE 产生过程中的作用及关系。结果发现, 在 ABE 范式下, 目标决策对背景信息所产生的注意促进作用是相对稳定的, 它不会受到目标决策是否需要动作反应, 以及目标与分心比例的影响。但动作反应对背景信息所产生的记忆增强效应却会因动作反应频率的不同而有所不同, 这种调节不仅会影响到 NoGo 目标探测条件下的 ABE, 也会影响到经典的 Go 目标探测条件下的 ABE。

6.1　目标决策对背景信息的注意促进作用是稳定存在的

本研究 4 个实验中, Go 目标探测条件下的 ABE 都是非常稳定的, 同时 NoGo 目标探测跨条件的 ABE 也是非常稳定的, 即 NoGo 目标词的再认率都会优于 Go 目标探测条件下的 NoGo 分心词。由于跨条件的 ABE 都不存在动作反应的影响, 因此相对更纯粹地验证了目标决策对背景信息所诱发的注意促进效应是可靠的, 稳定的, 并且它不容易受到目标与分心比例的影响, 这在以往研究中也曾得到证实(Swollow & Jiang, 2012)。虽然林谷洋(2019)曾发现, 当目标与分心的比例为 4 : 1 时, ABE 消失了。但本研究实验 4 通过增加空白词, 使得 Go 目标探测条件在维持目标和分心的比例为 4 ∶ 1 的情况下, 减少了 Go 目标词的动作反应频率, 结果也发现了 ABE。可见林谷洋(2019)研究中 ABE 的消失并非源于目标探测对背景信息的注意促进作用消失, 而是源于动作反应和目标探测的作用之间产生了动态权衡的结果, 这一点我们将在 6.3 中进行详细阐述。

因此本研究结果也进一步验证了 Swallow 和 Jiang 早期提出的双任务交互模型, 将探测刺激识别为目标的决策会诱发暂时性的时间选择性注意机制。该机制会伴随着蓝斑核(LC)在此时大量的去甲肾上腺素(NE)释放至最佳状态(也称为 LC-NE 的相位活跃性激活), 产生短暂的注意增强, 进而使背景信息获得更多的知觉加工(Swallow & Jiang, 2013; 孟迎芳, 林惠茹, 2017)。有研究表明, 无论是较易区分的目标还是较难区分的目标, 在被试执行目标相关行为反应之前的前 100 ~ 200 ms 时所发生的 LC-NE 相位活跃性大小极其相似(Aston-Jones & Cohen, 2005)。因此我们推测, 目标决策的促进作用之所以不受比例变化所影响, 可能是因为不同比例下目标决策所触发的 LC-NE 相位活跃性相似, 其释放的 NE 量可能是一个固定区间范围内的近似值。

6.2　动作反应频率对动作诱发的记忆增强效应的影响表现为一种线性趋势

本研究在 ABE 范式下创设了 NoGo 目标探测条件, 从而使得动作反应与目标探测分别作用于不同类型的背景信息。综合 4 个实验的结果可表明, 与目标探测对背景信息的稳定促进作用相比, 动作反应对背景信息产生的记忆增强效应很容易受到动作反应频率的影响。在前 3 个实验数据分析的基础上, 我们曾提出了动作诱发的记忆增强效应与动作反应频率之间会呈现一种线性关系, $y = ax + b$ $(x > 0)$, 其中 x 为动作反应频率, y 为动作诱发的记忆增强效应, $a = −0.41 ± 0.09$, 95% CI [−0.59, −0.22], $b = 0.29 ± 0.06$, 95% CI [0.16, 0.41], 并发现动作反应频率 2/3 是一个动作反应促进和抑制的平衡点。当动作反应频率超过 2/3 时, 频繁的动作反应会逐渐对背景信息的编码产生抑制作用, 反之, 则动作反应会逐渐对背景信息的编码产生促进作用。

动作反应频率之所以会对背景信息产生线性模式的影响, 可能与不同频率动作对去甲肾上腺素(NE)的唤醒水平不同有关。结合 Yebra 等人(2019)

对动作增强效应的解释，内侧颞叶(MTL)和蓝斑核(LC)都存在动作神经元，因此动作本身会调节 MTL 的神经活动并激活 LC 的相位活跃性，使其释放能够促进记忆形成的 NE 参与 MTL 的记忆回路(海马和周围皮质)，情景记忆的编码由此增强。该研究还发现，动作增强效应受 NE 的唤醒水平调节，那些在功能磁共振成像(fMRI)条件下处于更紧张/兴奋状态的被试会增加 NE 唤醒水平，使动作增强效应消失，表明由其它因素引发的 NE 唤醒水平增加反而会干扰动作增强效应的产生。这一现象符合 NE 的唤醒水平与认知表现呈倒 U 型关系(耶克斯−多德森定律; Diamond et al., 2007; Yerkes & Dodson, 1908)的假设，表明适中的 NE 唤醒水平对注意或记忆有益，但过高的 NE 唤醒水平则会损害注意或记忆(Aston-Jones et al., 1999; Gold et al., 1977; Yebra et al., 2019)。基于此，我们推测，动作反应频率也是通过影响 NE 唤醒水平以影响动作增强效应。当反应频率低于 2/3 时，被试的紧张/兴奋状态较低，其所唤醒的 NE 水平也较低，与动作增强效应所唤醒的 NE 叠加后仍处于适中的 NE 唤醒水平，因此仍表现为记忆的增强效应；但当反应频率高于 2/3 时，被试的紧张/兴奋状态较高，其所唤醒的 NE 水平也较高，与动作增强效应所唤醒的 NE 叠加后处于过高的 NE 唤醒水平，因此记忆成绩反而更差。当然，这一推测也还需要进一步的证据支持。

6.3　一种新的 ABE 理论：目标决策与动作效应的动态权衡模型

经典的 ABE 范式下，目标探测与动作反应对背景信息的作用是存在重叠的，而本研究结果表明，动作反应对背景信息所产生的记忆增强效应会因动作反应频率的不同而有所不同，这种调节作用不仅会在 NoGo 目标探测条件下发生，也会影响到经典的 Go 目标探测条件下的 ABE。因此我们提出了 ABE 的“动态权衡模型”用于补充说明 ABE 的产生机制。该模型认为，不论目标探测是否需要动作反应，ABE 的产生都不只是源于目标决策的促进作用，而是目标决策的促进作用与动作诱发的记忆增强效应动态权衡后的结果。权衡主要基于动作反应频率对动作诱发的记忆增强效应的调节作用，以动作反应频率约 2/3 为一个最佳平衡点。具体表现为，在 Go 目标探测条件下，当目标探测的动作反应频率过大(超过 2/3)时，频繁的动作反应会对目标词产生一定的抑制效应，会减弱或抵消目标探测对目标词所产生的促进作用，从而导致 ABE 减小或消失。在 NoGo 目标探测条件下，动作反应会作用于同时呈现的分心词，频繁的动作反应(超过 2/3)会产生一定的抑制效应，从而加大目标与分心条件之间差异。实验 1 中 NoGo 目标探测条件内的 ABE (12.10%)显著大于实验 3 (5.19%)也验证了这一点。而非高频的动作反应频率(小于 2/3，如 1/2)则会产生动作诱发的记忆增强效应，使得分心词的再认成绩与目标词相当，ABE 因此减小或消失。

ABE 的“动态权衡模型”可以较好地补充说明了动作反应在 ABE 产生机制中的作用，使 ABE 范式从 Go 目标探测范式进一步拓展至 NoGo 目标探测范式。但对于目标探测与动作反应重叠的 Go 目标探测范式下 ABE 的解释也还是存在着许多的疑惑。依据已有研究，目标决策的注意促进作用和动作诱发的记忆增强效应虽然本质上的作用机制不同，但均认为 LC (蓝斑)的相位活跃性激活是它们的产生基础之一。那么在目标探测与动作反应同时存在的情况下，这种作用是相互冗余，还是其中某一个在起作用？两者在不同反应频率下所表现出的动态权衡结果又会如何反映在 LC 的活跃性上？以往研究发现，恒河猴的 LC+神经元(即蓝斑及其附近包含去甲肾上腺素的蓝斑下核)只有在“Go”反应时才会伴随相位活跃性，在执行“Stop”反应时没有发现其相位活跃性的激活(Kalwani et al., 2014)。那么这是否意味着，NoGo 目标探测条件下产生的 ABE，并非基于 LC 的相位活跃性，而是由其它机制引发？但 Kalwani 等(2014)的研究所设计的 Go 反应也并未与目标决策分离，无法澄清 LC-NE 的相位活跃性究竟是特定于 Go 反应，还是特定于目标的认知决策？因此未来研究有必要采取瞳孔测量技术观察 NoGo 目标探测所伴随的瞳孔直径增加程度(LC 相位活跃性的间接指标)来进一步明确动作增强效应与目标决策促进作用在 ABE 中相互权衡的背后究竟反映了什么样的认知神经变化。此外，近期研究表明，Go 目标探测条件下，目标条件比分心条件诱发了更大的 P300 波幅，以及更小的 N2 波幅(林谷洋　等，2020)。通常 P300 与动作反应有关，N2 与动作抑制有关(Shitova et al., 2017; Johnstone et al., 2007)，那么 NoGo 目标探测条件下，NoGo 目标未伴随动作且可能涉及到反应抑制，其诱发的模式会与 Go 目标类似吗？动作效应与目标决策在目标词/分心词上的权衡又会如何反映在脑机制上？未来研究有必要采用事件相关电位技术，以进一步明确不同目标探测条件下 ABE 的产生机制，完善

动态权衡模型。

参 考 文 献

Aslam, M. M. (2006). Are you selling the right colour? A cross-cultural review of colour as a marketing cue. *Journal of Marketing Communications*, *12*(1), 15−30.

Aston-Jones, G., & Cohen, J. D. (2005). An integrative theory of locus coeruleus-norepinephrine function: Adaptive gain and optimal performance. *Annual Review of Neuroscience*, *28*, 403−450.

Aston-Jones, G., Rajkowski, J., & Cohen, J. (1999). Role of locus coeruleus in attention and behavioral flexibility. *Biological Psychiatry*, *46*(9), 1309−1320.

Au, R. K. C., & Cheung, C.-N. (2020). The role of attention level in the attentional boost effect. *Journal of Cognitive Psychology*, *32*(3), 255−277.

Modern Chinese Frequency Dictionary. (1986). Beijing: Beijing Language Institute Press.

[*现代汉语频率词典*. (1986). 北京：北京语言学院出版社.]

Diamond, D. M., Campbell, A. M., Park, C. R., Halonen, J., & Zoladz, P. R. (2007). The temporal dynamics model of emotional memory processing: A synthesis on the neurobiological basis of stress-induced amnesia, flashbulb and traumatic memories, and the Yerkes-Dodson law. *Neural Plasticity*, *2007*, 1–33.

Doallo, S., Raymond, J. E., Shapiro, K. L., Kiss, M., Eimer, M., & Nobre, A. C. (2012). Response inhibition results in the emotional devaluation of faces: Neural correlates as revealed by fMRI. *Social Cognitive and Affective Neuroscience*, *7*(6), 649–659.

Duncan, J., Ward, R., & Shapiro, K. (1994). Direct measurement of attentional dwell time in human vision. *Nature, 369*(6478), 313–315.

Faul, F., Erdfelder, E., Lang, A.-G., & Buchner, A. (2007). G*Power 3: A flexible statistical power analysis program for the social, behavioral, and biomedical sciences. *Behavior Research Methods*, *39*(2), 175–191.

Gold, P. E., van Buskirk, R., & Haycock, J. W. (1977). Effects of posttraining epinephrine injections on retention of avoidance training in mice. *Behavioral Biology*, *20*(2), 197–204.

Hommel, B. (2004). Event files: Feature binding in and across perception and action. *Trends in Cognitive Sciences*, *8*(11), 494–500.

Inoue, K., & Sato, N. (2017). Valuation of go stimuli or devaluation of no-go stimuli? Evidence of an increased preference for attended go stimuli following a go/no-go task. *Frontiers in Psychology*, *8*, 474.

Johnstone, S. J., Dimoska, A., Smith, J. L., Barry, R. J., Pleffer, C. B., Chiswick, D., & Clarke, A. R. (2007). The development of stop-signal and Go/Nogo response inhibition in children aged 7-12 years: Performance and eventrelated potential indices. *International Journal of Psychophysiology*, *63*(1), 25–38.

Kalwani, R. M., Joshi, S., & Gold, J. I. (2014). Phasic activation of individual neurons in the locus ceruleus/ subceruleus complex of monkeys reflects rewarded decisions to go but not stop. *Journal of Neuroscience*, *34*(41), 13656–13669.

Kinchla, R. A. (1992). Attention. *Annual Review of Psychology*, *43*(1), 711–742.

Lin, G. Y. (2019). *A Study of P300 on the Attentional Boost Effect* (Unpublished master’s thesis). Fujian Normal University, China.

[林谷洋. (2019). *注意促进效应的 P300 研究* (硕士学位论文). 福建师范大学, 福州.]

Lin, G. Y., Meng, Y. F., & Lin, H. R. (2020). An ERP Study of attentional boost effect. *Journal of Psychological Science*, *43*(1), 9–16.

[林谷洋, 孟迎芳, 林惠茹. (2020). 注意促进效应的 ERP 研究. *心理科学*, *43*(1), 9–16.]

Makovski, T., Jiang, Y. V., & Swallow, K. M. (2013). How do observer’s responses affect visual long-term memory? *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition*, *39*(4), 1097.

Makovski, T., Swallow, K. M., & Jiang, Y. V. (2011). Attending to unrelated targets boosts short-term memory for color arrays. *Neuropsychologia*, *49*(6), 1498–1505.

Meng, Y. F., & Lin, H. R. (2018). Attentional boost effect: New insights on relationship between attention and memory. *Advances in Psychological Science*, *26*(2), 221–228.

[孟迎芳, 林惠茹. (2017). 注意促进效应: 注意与记忆关系的新见解. *心理科学进展*, *26*(2), 221–228.]

Meng, Y. F., Zheng, S. Q., Wang, D. P., & Nie, A. Q. (2018). Limits to the attentional boost effect: The moderating influence of negative emotion. *Journal of Psychological Science*, *41*(2), 298−304.

[孟迎芳, 郑思琦, 王大鹏, 聂爱情. (2018). 负性情绪对注意促进效应的调节. *心理科学*, *41*(2), 298−304.]

Mulligan, N. W., Smith, S. A., & Spataro, P. (2016). The attentional boost effect and context memory. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition*, *42*(4), 598−607.

Mulligan, N. W., & Spataro, P. (2015). Divided attention can enhance early-phase memory encoding: The attentional boost effect and study trial duration. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition*, *41*(4), 1223–1228.

Mulligan, N. W., Spataro, P., & Picklesimer, M. (2014). The attentional boost effect with verbal materials. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition*, *40*(4), 1049–1063.

Pashler, H. (1994). Dual-task interference in simple tasks: Data and theory. *Psychological Bulletin*, *116*(2), 220–244.

Shitova, N., Roelofs, A., Coughler, C., & Schriefers, H. (2017). P3 event-related brain potential reflects allocation and use of central processing capacity in language production. *Neuropsychologia*, *106*, 138−145.

Spataro, P., Mulligan, N. W., & Rossi-Arnaud, C. (2013). Divided attention can enhance memory encoding: The attentional boost effect in implicit memory. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition*, *39*(4), 1223−1231.

Spataro, P., Mulligan, N. W., & Rossi-Arnaud, C. (2015). Limits to the attentional boost effect: The moderating influence of orthographic distinctiveness. *Psychonomic Bulletin & Review*, *22*(4), 987–992.

Swallow, K. M., & Jiang, Y. V. (2010). The attentional boost effect: Transient increases in attention to one task enhance performance in a second task. *Cognition*, *115*(1), 118–132.

Swallow, K. M., & Jiang, Y. V. (2011). The role of timing in the attentional boost effect. *Attention Perception & Psychophysics*, *73*(2), 389–404.

Swallow, K. M., & Jiang, Y. V. (2012). Goal-relevant events need not be rare to boost memory for concurrent images. *Attention Perception & Psychophysics, 74*(1), 70–82.

Swallow, K. M., & Jiang, Y. V. (2013). Attentional load and attentional boost: A review of data and theory. *Frontiers in Psychology*, *4*, 1–13.

Swallow, K. M., & Jiang, Y. V. (2014a). Perceptual load and attentional boost: A study of their interaction. *J Exp Psychol Hum Percept Perform*, *40*(3), 1034–1045.
Swallow, K. M., & Jiang, Y. V. (2014b). The attentional boost effect really is a boost: Evidence from a new baseline. *Attention, Perception, & Psychophysics*, *76*(5), 1298–1307.
Swallow, K. M., Jiang, Y. V., & Riley, E. B. (2019). Target detection increases pupil diameter and enhances memory for background scenes during multi-tasking. *Scientific Reports*, *9*(1), 1–13.
Theeuwes, J. (1992). Perceptual selectivity for color and form. *Perception and Psychophysics*, *51*(6), 599–606.
Theeuwes, J. (2010). Top-down and bottom-up control of visual selection. *Acta Psychologica*, *135*(2), 77–99.
Yebra, M., Galarza-Vallejo, A., Soto-Leon, V., Gonzalez-Rosa, J. J., de Berker, A. O., Bestmann, S., … Strange, B. A. (2019). Action boosts episodic memory encoding in humans via engagement of a noradrenergic system. *Nature Communications*, *10*(1), 1–12.
Yerkes, R. M., & Dodson, J. D. (1908). The relation of strength of stimulus to rapidity of habit-formation. *Punishment: Issues and Experiments*, *18*(5), 459–482.
Zheng, S., Meng, Y., & Lin, G. (2021). The attentional boost effect with semantic information detection tasks. *Quarterly Journal of Experimental Psychology*, *74*(3), 510–522.

Target decision or action? The role of action in the attentional boost effect

ZHENG Siqi[1], MENG Yingfang[1], HUANG Fajie[2]
([1] *School of Psychology, Fujian Normal University, Fuzhou* 350117, *China*)
([2] *School of Health, Fujian Medical University, Fuzhou* 350117, *China*)

Abstract

The attentional boost effect (ABE) represents a phenomenon in which, in some dual tasks, increasing attention to a brief target in a detection task can enhance memory for unrelated items that are presented at the same time (relative to distractor-paired items). The ABE was different from the dual-task interference phenomenon found in previous studies, and to explain the ABE, Swallow and Jiang proposed a dual-task interaction model. This model claimed that the ABE was mainly triggered by the decision that an item is a target, which can lead to the transient but widespread perceptual enhancement of information by inducing a temporal selection mechanism. However, in ABE studies, the target detection tasks always coincide with Go responses that require action. One recent study found that action can enhance memory for unrelated items, which was called action-induced memory enhancement (AIME). Therefore, it is unclear whether the ABE is induced by the action or the target decision. To address this question, in the present study, the verbal paradigm of the ABE was modified and designed with a NoGo-target detection condition (NoGo-targets vs. Go-distractors) to separate target items from action responses, and a traditional Go-target detection condition (Go-targets vs. NoGo-distractors) was used for comparison. If the ABE is mainly triggered by the target decision, then NoGo-target detection could trigger the cross-conditional ABE (relative to NoGo-distractor items). In contrast, if the ABE is mainly triggered by the action, the NoGo-target items will not have any memory advantage.

The present study included four experiments, and 137 valid data points were collected, including 33 valid data points in Experiment 1, 35 valid data points in Experiment 2, 36 valid data points in Experiment 3, and 33 valid data points in Experiment 4. The only difference among the four experiments was that the ratio of target-to-distractor items was different during the dual-task encoding phase. In Experiment 1, the ratio of target-to-distractor items was the same as that in the classic ABE verbal paradigm (1:5) to explore the role of AIME in the ABE. In Experiments 2 and 3, the ratio of target-to-distractor items was set to 1:1 and 1:2 to explore the role of the AIME and target decision in the ABE with different action frequencies. In Experiment 4, blank words (words without detection stimuli) were added in the detection phase to separate the action frequency (2/3) from the target frequency (relative to distractors; Go-targets: 4/5; NoGo-targets: 1/5) and verify the dynamic trade-off model of the target decision and action reaction proposed in the present study. Each experiment contained two conditions, namely, NoGo-target detection and Go-target detection, and each condition consisted of two phases, namely, a dual-task encoding phase and a recognition phase. During the dual-task encoding phase, a series of memory stimuli (words) and detection stimuli (coloured circles presented,

1 cm below the words) were presented at the same time, and the participants were asked to simultaneously perform the memory and detection tasks. During the recognition phase, only memory stimuli were presented, and the participants were required to judge the stimuli as old or new. The only difference between the NoGo-target condition and Go-target condition was reflected in the instructions for the detection task: in the Go-target condition, the participants were asked to press the space bar as quickly as possible when they saw the target circles (e.g., a red circle with Go-response) but did not need to respond when they saw other-coloured circles (i.e., distractor circles with NoGo-responses); in contrast, in the NoGo-target condition, the participants were required to press the space bar as quickly as possible for all circles (i.e., distractor circles with Go-responses) but withhold a button press for the target circle (e.g., a red circle with NoGo-response).

The results showed that NoGo-target detection enhanced memory performance for target items (relative to Go-distractor/NoGo-distractor items) in the four experiments. First, it was found that the NoGo-target items were better remembered than the Go-distractor items and NoGo-distractor items in Experiment 1 (1:5 ratio), and performance with the Go-distractor items was worse than that with the NoGo-distractor items, showing that the ABE was triggered by the target decision without an action response and that actions had inhibitory effects at high frequencies. Second, it was found that the NoGo-target items were better recognized than the NoGo-distractor items but not better than the Go-distractor items in Experiment 2 (1:1 ratio), and the AIME was found with the Go-distractor items, showing that the boosting effect from the target decision on background information is robust, but the AIME affected the generation of the ABE within the NoGo-target condition. Third, it was found that NoGo-target items were better remembered than Go-distractor items and NoGo-distractor items in Experiment 3 (1:2 ratio), and there was no difference in memory performance between the Go-distractor items and the NoGo-distractor items, indicating that action frequency affected the generation of the ABE by adjusting the AIME. Finally, it was found that at 2/3 of the action frequency, both the Go-target detection with high target frequency and the NoGo-target detection with low target frequency triggered the ABE, and the memory performance was similar between the Go-distractor items and the NoGo-distractor items, indicating again that action frequency affected the generation of the ABE by adjusting the AIME, verifying the hypothesis of the dynamic trade-off model.

Overall, the results of all four experiments found memory advantages with the NoGo-target items, but the generation of the ABE was affected by the frequency of action responses, indicating that the boosting effect from the target decision is robust in the ABE, and the action and the target decision work together in the generation of the ABE. Accordingly, we propose the dynamic trade-off model, arguing that the AIME at different frequencies dynamically trade-off against the boosting effect of target decisions and thus influence the ABE.

Keywords attentional boost effect, action-induced memory enhancement, dual-task interaction model, Go-target detection, NoGo-target detection